



Evaluación geoambiental asociado al sistema fluvial Ctlamochita, Córdoba, Argentina

M. Jimena RODRIGUEZ^{1,2}, Eliana CONCI^{3,4}, Pablo BOUZA⁵, Analía BECKER^{2,6} y María GRUMELLI⁷

¹Centro de Investigaciones y Transferencia CIT-CONICET, Universidad Nacional de Villa María. Villa María. E-mail: mjrodriguez@unvm.edu.ar

²Instituto A. P. de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María.

³Grupo CLIOPE, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CCT Mendoza.

⁵Instituto Patagónico de Geología y Paleontología, CONICET, CCT CENPAT, Chubut.

⁶Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica-CONICET, Universidad Nacional de Villa María.

⁷Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto.

Editor: Ricardo A. Astini

Recibido: 20/05/2025

Aceptado: 29/09/2025

RESUMEN

El análisis geoambiental se fundamenta en procesos de transformación del planeta e involucra al ser humano como agente. En la Planicie Fluvioeólica Central (Córdoba, Argentina) existen problemáticas ambientales por cambios de uso del suelo. El objetivo es evaluar ambientes geopedológicos rurales y periurbanos. La sedimentación cenozoica del río Ctlamochita se extiende desde el piedemonte de la sierra Los Cóndores-Las Peñas en paleocauces cubiertos por loess, controlada por neotectónica compresiva. Análisis cartográficos y mediciones permitieron identificar a nivel de Subfamilia cinco Geotaxas y Pedotaxas representativas. La Geotaxa Depresión con Haplustoles údicos, periurbano noreste de Villa María, posee problemas de anegamiento, compactación y avance de la urbanización sobre el sector agropecuario. La Geotaxa Paleocauce con Natracualfes típicos corresponde a relictos de bosque nativo, vulnerable por la dinámica hídrica, hidromorfismo y halomorfismo. Aunque la Ordenanza declara a algunos sectores como Reserva Natural Protegida, carece de un plan de manejo detallado. La Geotaxa Manto Loésico, interfluvios con Haplustoles típicos, es estable ante la dinámica fluvial, pero vulnerable a la eólica e intensificación agroecosistémica. La Geotaxa Paleollanura de Inundación con Haplustoles típicos, evidencia avance de la frontera agrícola sobre el bosque ribereño. La Geotaxa Faja Fluvial con Ustipsammentes típicos, vulnerable a inundaciones y erosión de márgenes, presenta conflictos relacionados a la conservación y límite de ribera. La pedogénesis progresiva: Entisoles-Molisoles-Alfisoles, base que relaciona procesos y degradación geoambiental de acuerdo a la paleo y actual dinámica fluvioeólica, permitiría legislar y verificar el uso del suelo. En consecuencia, la vulnerabilidad depende de características geopedológicas y problemáticas socioambientales.

Palabras clave: geopedología, geotaxa, pedotaxa, planicie fluvioeólica, vulnerabilidad socioambiental.

ABSTRACT

Geoenviromental assessment of the Ctlamochita fluvial system, Córdoba, Argentina fluvial system, Córdoba, Argentina.

Geoenviromental analysis is based on planetary transformation processes and involves human beings as agents. In the Central Fluvioeolic Plain (Córdoba, Argentina) there are environmental problems by changes in soil use. The objective is to analyze rural and periurban geopedological environments. The Cenozoic sedimentation of the Ctlamochita River extends from the foothills of the Sierra Los Cóndores-Las Peñas in paleochannels covered by loess, controlled by compressional neotectonic deformations. Cartographic analyses and measurements enabled the identification of five representative geotaxa and pedotaxa at the Subfamily level. The Depression Geotaxa with udic Haplustols, in the northeastern periurban area of Villa María, has problems of waterlogging, compaction and urbanization advancement over the agricultural sector. The Paleocauce Geotaxa with typical Natracualfs corresponds to relicts of native forest, vulnerable by the hydric dynamics, hydromorphism and halomorphism. Although the Ordinance declares some sectors as a Protected Natural Reserve, it lacks a detailed management plan. The Manto Loésico Geotaxa, interfluves with typical Haplus-

tols, is stable to fluvial dynamics, but vulnerable to eolian and agroecosystemic intensification. The Floodplain Paleollanura Geotaxa with typical Haplustols evidences the advance of the agricultural frontier over the riparian forest. The Geotaxa Faja Fluvial with typical Ustipsamments, vulnerable to flooding and bank erosion, presents conflicts related to conservation and riparian boundary. The progressive pedogenesis: Entisols-Mollisols-Alfisol, base that relates processes and geoenvironmental degradation according to paleo and actual fluvioeolian dynamics, would allow legislating and verifying land use. Consequently, vulnerability depends on geopedological characteristics and socio-environmental problems.

Keywords: geopedology, geotaxa, pedotaxa, fluvioeolian plain, socio-environmental vulnerability.

INTRODUCCIÓN

Existen situaciones irreversibles derivadas del manejo inadecuado del territorio y muchos sectores están en franco deterioro, consecuencia directa del poco conocimiento sobre la dinámica y evolución geomorfológica. Las modificaciones que se producen en el ambiente no consideran estos aspectos y causan profundas alteraciones en el equilibrio existente, desencadenando o acelerando procesos que derivan en una rápida degradación del terreno (Carignano et al. 2014). El análisis geoambiental es un instrumento importante de gestión ambiental territorial de escenarios actuales y potenciales que se fundamenta en reconocer, describir formas y procesos de continua transformación del planeta, siendo el ser humano un agente de transformación (Grupo Hunosa et al. 2016). En este sentido Richardson et al. (2023) afirman que la humanidad está ejerciendo una presión sin precedentes sobre el sistema Tierra y lo más preocupante es que todos los límites planetarios de procesos relacionados con la biosfera, quien proporciona la resiliencia, están en o cerca de un nivel de alto riesgo de transgresión. La perspectiva geoambiental, al integrar la dinámica social con las actividades económicas emergentes, reconfigura los arreglos espaciales en el ambiente, promoviendo una visión holística de las interacciones entre los sistemas naturales y sociales (De Souza Marques 2024). Según Vedovello (2004) citado por De Sousa Gonçalves (2025), el término geoambiental surgió para acompañar una tendencia en las geociencias, ampliando el campo de actuación de los profesionales relacionados con el estudio del ambiente y no limitar las especializaciones, fomentando estudios integrados entre diferentes áreas y la cartografía como herramienta de síntesis. Además, De Sousa Gonçalves (2025) expone que los términos más utilizados entre 2017 y 2023 fueron Análisis Geoambiental, Geodiversidad y Planificación Ambiental, lo que refuerza no solo la necesidad de enfoques multidisciplinarios para la gestión ambiental, sino también la complejidad de las interacciones entre la sociedad y el ambiente.

El conocimiento geológico resulta de importancia por su función como soporte de las actividades humanas, del ecosistema y de los procesos exógenos asociados a peligros naturales (Rodríguez Gamiño y López Blanco 2006). Los riesgos ambientales, sean de origen natural o antrópico, deben evaluarse en función de la peligrosidad, vulnerabilidad y cantidad de bienes materiales y humanos expuestos (Lario et al. 2017). Para determinar la vulnerabilidad ambiental es imprescindible el enfoque geopedológico que estudia los patrones de distribución geográfica de los suelos y la dinámica de los paisajes, es decir, las relaciones entre geomorfología y pedología, ya que las formas del paisaje controlan la formación y distribución de los suelos y a su vez el desarrollo de los suelos tiene influencia en la evolución del paisaje (Zinck 2012, Zinck et al. 2016). Además, en este enfoque es importante incorporar el análisis de las interacciones sociales con el ambiente. Plencovich et al. (2017) sostienen que las diferentes problemáticas ambientales son sistémicas, de dinámica abierta e inestables, y responden a procesos sociales, hidrometeorológicos e hidrogeológicos.

En general, y para diversas regiones del mundo, los cambios en el uso de la tierra son el resultado de interacciones complejas entre actividades antrópicas y condiciones ambientales, que afectan los ecosistemas a múltiples escalas espacio-temporales, particularmente cuando determinan el reemplazo de las coberturas naturales (Galletto et al. 2021). Las amenazas más significativas a la función del suelo a escala global son: la erosión, la pérdida de carbono orgánico y el desequilibrio de nutrientes. Tal es la importancia y preocupación de estas amenazas que los países ponen en agenda las problemáticas y la preservación del recurso, mediante los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo 2015). Mantener la diversidad de formas de vida va a depender de comportamientos de consumo y producción compatibles con la diversidad biológica y geológica (León y Cárdenas 2020).

Las problemáticas socioambientales plantean desafíos en diversas escalas y configuraciones, por ejemplo: el manejo de cuencas hidrográficas, la protección de corredores de conectividad biológica, la planificación de regiones metropolitanas, costeras extensas y áreas productivas homogéneas, entre otras; donde el debate territorial ambiental involucra diferentes modelos de desarrollo para relacionar lo local con proyectos regionales y nacionales (Blanco et al. 2023). En consecuencia, el conocimiento de las relaciones entre los elementos del ambiente es un paso esencial que contribuye a mitigar muchos de los conflictos relacionados al uso irracional y degradación de los recursos naturales (Duval y Benedetti 2019).

En Argentina el 40 % del territorio está afectado por distintos procesos de degradación, aunque no se diferencian los causados por actividad antrópica de aquellos donde intervienen los fenómenos naturales y poseen un variado nivel de extensión con una escala de gravedad diversa (Lavado 2016). La degradación de la tierra es un problema grave y generalizado siendo los principales impulsores el avance de la frontera agrícola en ecosistemas frágiles con sistemas agrícolas intensivos y simplificados (Fernández et al. 2023). Además, la información disponible de los suelos se concentra en zonas con capacidades de uso agroproductivas, principalmente en la región Chacopampeana, donde muchas veces fracasa por no proveer las respuestas necesarias en relación al manejo de los recursos ambientales, siendo imprescindible reformular y/o completar las bases existentes como punto de partida para realizar la planificación y ordenamiento territorial (Del Valle 2008).

Algunos autores en Argentina se han basado en el enfoque geopedológico para generar un modelo de distribución y composición de suelos en el chaco salteño, extrapolable a otros ambientes similares (Moretti et al. 2012); delimitar regiones pedogenéticas en Neuquén como un diseño de regionalización de síntesis (Pereyra et al. 2011) o para profundizar en el conocimiento de los factores y procesos formadores de los suelos en los bajos submeridionales chaco santiagueños (Vizgarra et al. 2022). Sayago y Collantes (2016) describen en Tucumán la ocupación histórica de la tierra y los rasgos relieve-suelo distintivos para programas de recuperación de tierras degradadas. Bouza et al. (2019) evalúan los niveles tóxicos de aluminio y hierro en suelos asociados a marismas a lo largo de la costa atlántica de la Patagonia. En Córdoba para determinar la calidad, degradación y génesis del suelo en la región pedemontana y de llanura del centro-sur de la provincia (Schiavo et al. 1995, Cantú 1998, Becker 2006, Grumelli 2010, Parra 2011).

Carignano et al. (2014) exponen que gran parte de la pro-

vincia de Córdoba está afectada por problemas de erosión, inundaciones, sedimentación y colapsos de suelos, entre otros, que constituyen amenazas para el ambiente. En la región del Espinal, diversos procesos históricos relacionados con los cambios en el uso de la tierra han determinado una sustancial pérdida y degradación de coberturas naturales, principalmente de los bosques nativos (Galletto et al. 2021). En el territorio de influencia, sea urbano, periurbano o rural del conglomerado de Villa María-Villa Nueva (Córdoba), se han reportado diferentes problemáticas ambientales asociadas al cambio y uso del suelo, sin una planificación adecuada (Bachetti et al. 2021, Rodríguez et al. 2021, Conci et al. 2024). Estas problemáticas ambientales, resultado del funcionamiento de sistemas complejos, involucran distintos actores sociales con diferentes perspectivas respecto de su estructuración, sus impactos, la forma de transformarlos y las estrategias de afrontarlos (Bonatti et al. 2013 citado por Vugman et al. 2017). En este sentido, en la región existen evidencias y valorización de las percepciones de los actores sociales en estudios donde se aplica la perspectiva geoambiental (Becker et al. 2021, Rodríguez et al. 2021, Barrera et al. 2022, Conci et al. 2024), donde coinciden que estos registros permiten obtener datos socioproductivos, de problemáticas geoambientales y de gestión territorial.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar, desde la perspectiva geoambiental, ambientes geopedológicos en zonas rurales y periurbanas asociadas al sistema fluvial Caltamochita en el departamento General San Martín, Córdoba, Argentina.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en zonas rurales y periurbanas de la llanura Pampeana, más precisamente en la Pampa Norte (Iriondo 1994) de Córdoba, centro del departamento General San Martín (Fig. 1). El clima es templado subhúmedo de tipo monzónico con una precipitación media anual de 805 mm (Rodríguez et al. 2021) y temperatura media anual de 16.5° C (Bosnero et al. 2006). La vegetación natural corresponde a la Provincia Biogeográfica Pampeana, Distrito del Espinal donde predomina el bosque xerófilo, dominado por especies arbóreas del género *Prosopis* (Arana et al. 2021), hoy denominada *Neltuma* (Hughes et al. 2022).

Es importante destacar que la diferenciación temprana de algunas subregiones biogeográficas comenzó con las fases finales de la orogenia andina (14-10 Ma aproximadamente).

Fines del Mioceno y comienzo del Plioceno (5-2 Ma) se registra la elevación de la Cordillera de los Andes en el centro

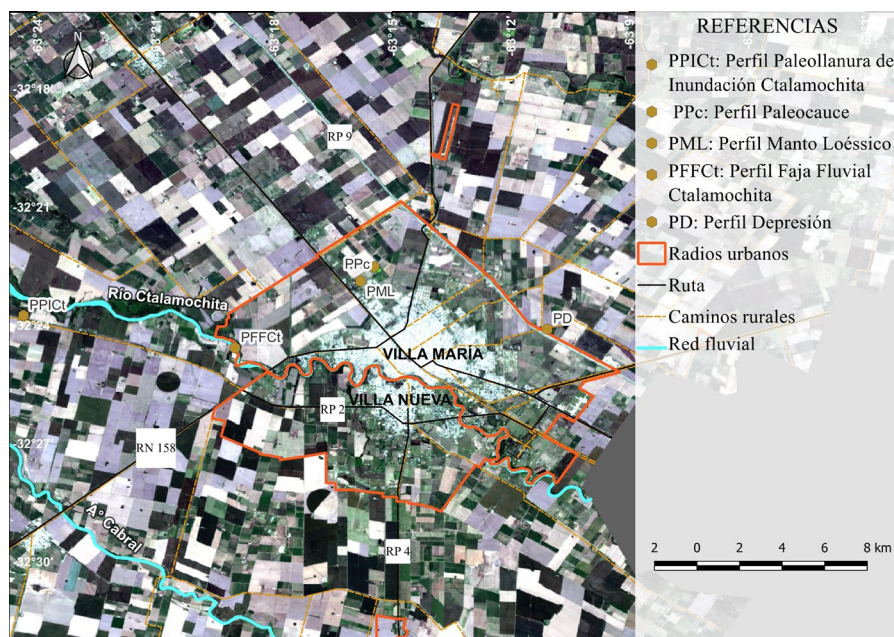
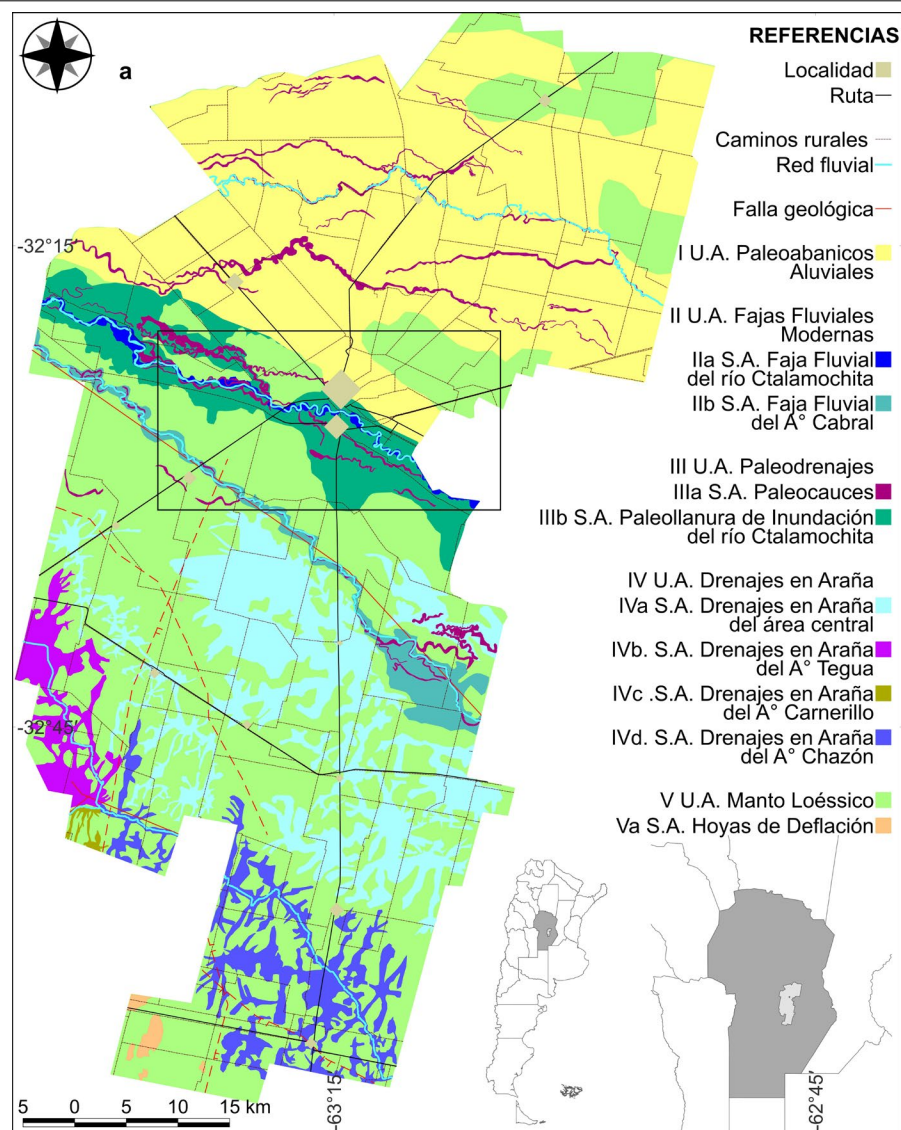


Figure 1. Mapa de Ubicación. a) Unidades Ambientales del departamento General San Martín, Córdoba, Argentina (Rodríguez et al. 2021). b) Ubicación de perfiles representativos.

de Argentina y de la Puna y Sierras Pampeanas, generando condiciones de aridez. Durante el límite Plioceno-Pleistoceno (2,7 Ma), surge el Istmo de Panamá, lo que provocó el denominado Gran Intercambio Biótico Americano afectando las faunas de Norte y Sudamérica (Arana et al. 2021). En este relieve fluvioeólico se desarrollan predominantemente Molisoles (Haplustoles, Argiustoles, Natrustoles, Natralboles y Argialboles) y en menor proporción Alfisoles (Natracualfes y Albacualfes) (Bosnero et al. 2006) con capacidades de uso III, IV, hasta VII (Macagno et al. 2023). Por lo cual, a escala departamental, existen antecedentes cartográficos (Rodríguez et al. 2021) basados en la delimitación de Unidades Ambientales Integradas (Cendrero et al. 1992) las cuales son una expresión espacial concreta cartográfica que combina sus rasgos geológico-geomorfológicos, comunidades biológicas, procesos activos y usos del territorio (Cendrero et al. 2002). En este sentido, Rodríguez et al. (2017) reafirman que esta región constituye un área propicia para aplicar el concepto de Unidades Ambientales Integradas con el fin de conocer el estado geoambiental actual y la toma de decisiones en ambientes con geoformas complejas y con alta variabilidad de suelos.

MARCO GEOLÓGICO

El ámbito de esta gran planicie se caracteriza por una extensa sedimentación continental en donde se reconocen restos de abanicos aluviales coalescentes muy disectados, compuestos por sedimentos fluviales que gradualmente se interdigitan con limos y arenas fluvioeólicas y materiales loesoides (Bonalmi et al. 2005). Durante el Pleistoceno y Holoceno, de acuerdo a Iriondo (1994), la Pampa Norte estuvo sometida a la influencia de los grandes ríos del Litoral y de los sistemas menores provenientes de las Sierras Pampeanas, especialmente los ríos Dulce, Tercero y Quinto en ese orden. Sus sedimentos contienen mayores porcentajes de cuarzo y feldespatos potásicos y menor cantidad de productos volcánicos que los de la Pampa Sur. Carignano et al. (2014) dividen a la Llanura Pampeana en cuatro ambientes mayores: (i) Depresión Tectónica de la laguna de Mar Chiquita, (ii) Planicie Arenosa Eólica del Sur, (iii) Ambientes Pedemontanos y (iv) Planicie Fluvioeólica Central. El estudio se realizó en este último ambiente el cual se caracteriza por morfologías principalmente de sedimentación cenozoica de sistemas fluviales, aluviales efímeros y depósitos eólicos. Su historia geobiótica se identifica en la geomorfología labrada por el río Ctlamochita, donde la impronta del paleoabanico aluvial se extiende en una serie de paleocauces cubiertos por loess desde el piedemonte de la sierra de Los Cóndores y Las Peñas (Carignano

et al. 2014). Estas sierras forman parte de la Sierra Chica sur de Córdoba donde el basamento gneísico-migmático (Cámbrico inferior) fue intruido por rocas ígneas (Cámbrico superior - Ordovícico medio) de composición tonalítica, trondhjemitica, granodiorítica, minoritariamente granítica (D'eraimo et al. 2014, Pinotti et al. 2021) y por rocas volcánicas basálticas (Cretácico inferior) en la sierra de Los Cóndores (Geuna y Escosteguy 2014).

La región está controlada por deformaciones neotectónicas compresivas (Brunetto e Iriondo 2007). Datos gravimétricos satelitales permiten interpretar la presencia de estructuras de la corteza superior que coinciden con las características morfoestructurales de la superficie que evidencian deformación y levantamiento regional en la cuenca intracratónica Chaco-Paraná (Brunetto, Sobrero y Giménez 2019). La principal estructura es el lineamiento Rayo Cortado-Pampayasta-Alejandro descripta como un desnivel topográfico que divide a los bloques denominados como "Pampa Elevada" y "Pampa Hundida", de carácter inverso resultante de los procesos de inversión tectónica andina durante el Neógeno (Pasotti 1974, Massabie 1987, Degiovanni et al. 2005, Costa et al. 2014). Esta estructura asociada a otras menores influyó significativamente en la configuración general del drenaje y en la dinámica hidrogeológica (Sagripanti et al. 2012, Carignano et al. 2014, Costa et al. 2014). Estimaciones de las tasas de elevación regional evidencian procesos superficiales y tectónicos altamente dinámicos que controlan la evolución del paisaje en escalas de tiempo intermedias en un entorno intracratónico (Brunetto et al. 2017).

Estratigráficamente, la Planicie Fluvioeólica Central asociada al megabanico del río Ctlamochita, está representada principalmente por cuatro unidades litoestratigráficas cuaternarias: Formaciones Chocancharava, La Invernada, Arroyo Las Lajas y Laguna Oscura (Cantú 1992). En algunos sectores, en lechos de ríos y arroyos, aflora la Formación Pampeano, que constituye el nivel de base local (Cantú 1992). Esta columna sedimentaria se apoya sobre el basamento representado por los Complejos Metamórficos Sierra Chica y Sierra de las Peñas (Proterozoico superior - Cámbrico inferior).

La Asociación Geomorfológica Planicie Fluvioeólica Central en el departamento General San Martín (Córdoba), presenta tres grandes ambientes geomorfológicos de dinámica fluvial: (i) paleoaluvial al norte, (ii) fluvial en el sector central relacionado al Río Ctlamochita y Arroyo Cabral, y (iii) drenaje en araña en la región centro y sur asociado a arroyos de la zona, cañadas, bañados, lagunas permanentes y temporarias. El (iv) manto loésico se localiza a lo largo de todo el departamento en los sectores más altos del relieve (Rodríguez et al. 2017).

CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL

En relación al contexto socioambiental, la colonización agrícola en Córdoba procedió de este a oeste cuando se habían agotado las posibilidades de obtener tierras en la provincia de Santa Fe, donde existía hacia 1864 una incipiente agricultura precapitalista en la zona del río Ctalamochita (Corigliano 2009). En los años noventa del siglo XX se generó un importante proceso de cambio tecnológico en el agro argentino relacionado al manejo, formas de producción, de apropiación y uso de los recursos naturales (Pengue 2014). A escala local se encuentran sistemas mixtos asociados a la producción lechera y agrícola (Bosnero et al. 2006), aunque en algunos sectores es predominantemente agrícola sin respetar la capacidad de uso de los suelos (Gorgas et al. 2014). Además, existe un grado de desaparición alarmante de la vegetación nativa por desmonte en la cuenca media y baja del río Ctalamochita de la que solo quedan relictos aislados en un paisaje agrícola (Oggero et al. 2014), donde tanto la vegetación leñosa como las comunidades herbáceas, han sido casi totalmente transformadas e irreversiblemente destruidas (Bosnero et al. 2006, Zak 2008). Las principales problemáticas geoambientales evidenciadas son las inundaciones, en especial en zonas cercanas a los sistemas fluviales actuales (Xanaes, Ctalamochita, Algodón, Cabral y Tegua), mientras que en sectores más alejados se han reportado problemáticas de anegamientos, agrietamiento de suelos, erosión hídrica y eólica. Los grandes propietarios son los que principalmente trabajan con el sistema *feedlot* y la mayoría no realiza tratamiento de sus efluentes, lo cual genera impactos ambientales de importancia en suelo, aire y agua (Macagno et al. 2023).

METODOLOGÍAS

A partir del análisis de la distribución geográfica de los suelos, considerando la geomorfología y pedología de antecedentes bibliográficos, observación y supervisión a campo; se implementó el enfoque geopedológico (Zinck 2012, Moretti et al. 2016). Este enfoque consiste en un sistema de clasificación taxonómico de geoformas (Geotaxa) de tipo jerárquico para ser utilizado a diversos niveles categóricos en el estudio de la relación paisaje-suelo (Zinck 1988). El origen controlado por la geodinámica interna es más importante en las categorías superiores, mientras que el origen controlado por la geodinámica externa es más importante en las categorías inferiores (Zinck 2012). Geoforma es el término genérico a todos los niveles taxonómicos (Orden/geoestructura, Subor-

den/ambiente morfogénico, Grupo/paisaje geomorfológico, Subgrupo/relieve, Familia/litología-facies), mientras que forma de terreno (Subfamilia) se utiliza para designar el nivel inferior del sistema de clasificación, donde la Pedotaxa o tipo de suelo identificado en este último nivel funciona como descriptor (Zinck 2012). Desde el nivel taxonómico Orden hasta Familia, se consideraron para este trabajo los antecedentes bibliográficos a escala regional de la Geomorfología de Córdoba (Carignano et al. 2014), así como la Geología 1:250.000 de Villa María y Río Cuarto (Bonalmi et al. 2005, Degiovanni et al. 2005). En cambio, para el nivel taxonómico inferior (Subfamilia) para la identificación de las Geotaxas formas del terreno, se consideraron las cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) 1:100.000 y 1:50.000, carta de suelos 1:50.000 de Villa María (Bosnero et al. 2006), imágenes satelitales Landsat 8 (228-82 y 228-83, 2014) y modelo digital de elevación (Misión Shuttle Radar Topography) del USGS. Se seleccionaron los sitios representativos de cada Geotaxa, con el fin de determinar el contenido pedológico de cada una de ellas (Pedotaxa) para la construcción del mapa geopedológico a escala local. En cada sitio se efectuó la descripción y muestreo de los suelos (Soil Survey Manual 2017) para el posterior análisis en laboratorio. Se determinaron las propiedades químicas, físico-químicas y físicas: carbono orgánico por ignición (Heiri et al. 2001), pH (suelo-agua 1:2.5) y conductividad eléctrica (suelo-agua 1:1) por métodos potenciométricos con phmetro y conductímetro digital Hanna (Jackson 1970), granulometría por el método combinado de la pipeta de Robinson (Ley de Stokes) para las fracciones menores a 50 micrones y tamizado vía seca para las fracciones más gruesas (Soil Survey Staff 2022). Posteriormente se efectuó la clasificación taxonómica de suelos (Soil Survey Staff 2022).

Las principales problemáticas socioambientales relacionadas al cambio en el uso y manejo de la tierra y riesgos ambientales, fueron registradas mediante observación a campo (Plencovich et al. 2017) y revisión bibliográfica para el análisis geoambiental (Grupo Hunosa et al. 2016).

RESULTADOS

El mapa geopedológico de la cuenca media del río Ctalamochita, zona centro del departamento General San Martín, presenta la clasificación de las geoformas hasta el nivel de "Forma del terreno" con sus correspondientes suelos representativos (Fig. 2). Se define como geoestructura a Sierras Chicas, en un ambiente morfogénico de tipo deposicional. El paisaje geomorfológico pertenece a la planicie central y a

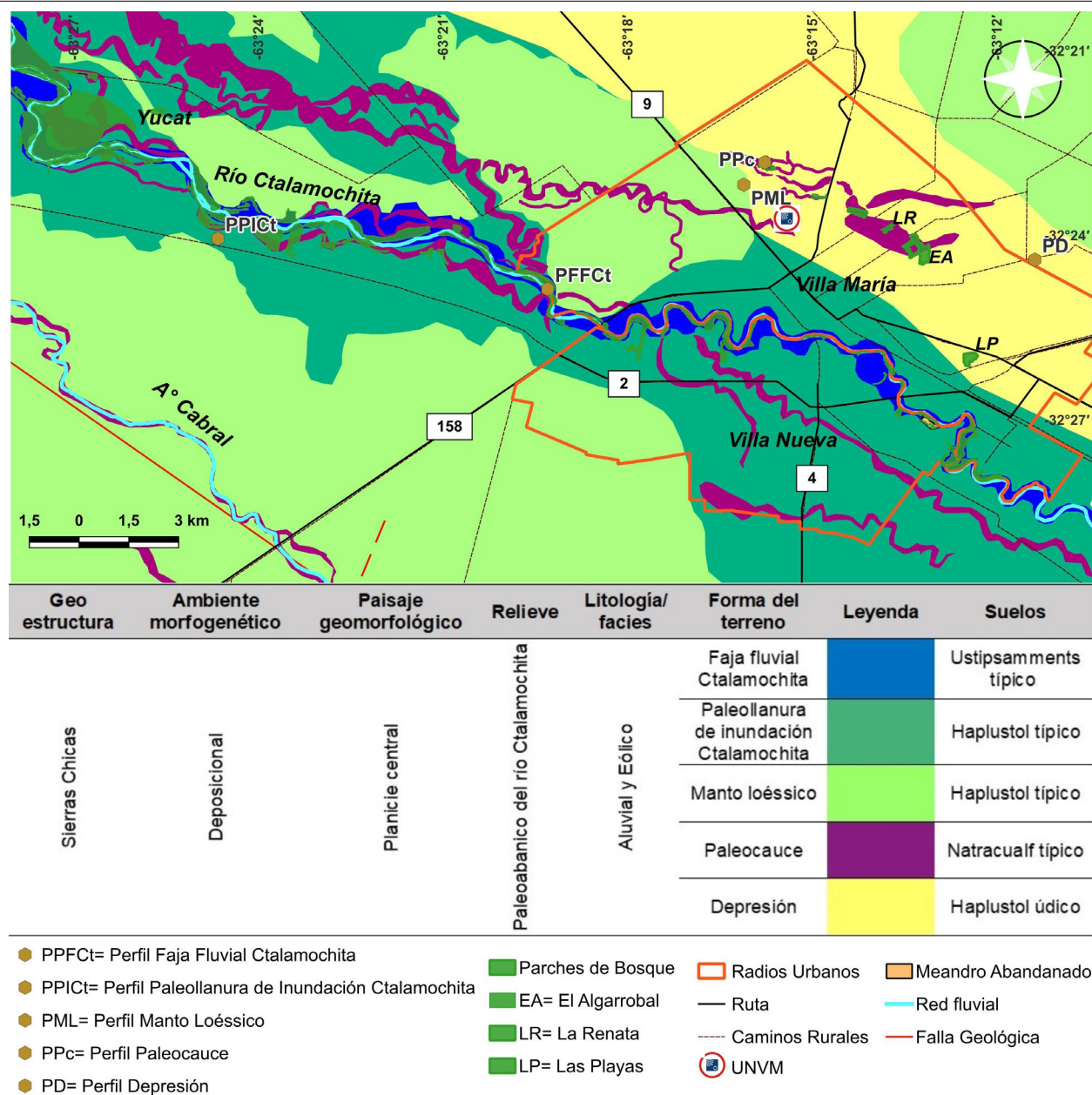


Figura 2. Mapa Geopedológico de la región centro del departamento General San Martín.

nivel de relieve se localiza en el Paleoabánico del río Ctalamochita de litología/facies aluvial y eólica.

En el análisis del área de estudio a escala local, se identificaron cinco Geotaxas en la categoría Subfamilia (forma del terreno) clasificadas como: Depresión (D), Paleocauce (Pc), Manto Loésico (ML), Paleollanura de Inundación Ctalamochita (PIct) y Faja Fluvial Ctalamochita (FFCt) con sus correspondientes Pedotaxas representativas (Fig. 2 y 3).

Geotaxa Depresión

En los sectores bajos del paisaje se localiza la Geotaxa Depresión, al noreste del área de estudio (Fig. 2), conformada predominantemente por Haplustoles údicos (Hu) (Tabla1). El

relieve es suavemente ondulado con pendientes que varían entre el 1 % al 0.5 %. El escurrimiento es lento con moderada permeabilidad y la distribución de la humedad es relativamente uniforme a lo largo del perfil. En la zona este del área, periurbano de Villa María, se localiza el perfil representativo y la secuencia de horizontes es como sigue: Ap-AB-Bt-BC-C (Fig. 3a). Presenta un desarrollo pedogenético intermedio, el epipedón mólico bien provisto en carbono orgánico (2.58 - 2.08 %), alta densidad aparente (1.34 - 1.36 g/cm³), solum moderado a fuertemente alcalino y no salino (Tabla 1). Esta Pedotaxa presenta capacidades de uso para la ganadería con un uso y manejo de más de 30 años de actividad tambera. En cuanto a la problemática socioambiental, existe un

avance acelerado de la urbanización.

Geotaxa Paleocauce

La Geotaxa Paleocauce presenta una geomorfología más definida con complejos de suelos relacionados a antiguas zonas de esorrentía del río Ctlamochita (Fig. 2) con alta variabilidad espacial, donde la Pedotaxa representativa es un Natracualf típico (Nt) (Tabla 1). El relieve es suavemente ondulado con pendientes entre 0 y 1 %, y escurrimiento muy lento a lento. Presenta una porosidad muy marcada en los primeros centímetros disminuyendo en profundidad, con permeabilidad lenta y distribución de la humedad no uniforme a lo largo del perfil. El drenaje es imperfecto y el nivel freático fluctuante con presencia de moteados precisos, comunes y finos de óxidos de hierro y manganeso a partir del horizonte Btn. El perfil representativo se localiza en un relicto de vegetación nativa del campus de la Universidad Nacional de Villa María (Fig. 2) y la secuencia de horizontes es característica de suelos evolucionados: A, E, Btn, BC, Ck; (Fig. 3b). El epipedón ócrico está bien provisto en carbono orgánico (2.79%) por lo cual queda definido por su profundidad (0.6 cm), media a baja densidad aparente en los primeros centímetros (1.07 g/cm³) y alta (1.4 g/cm³) en el endopedón nátrico. El solum es ligero a moderadamente ácido en los primeros horizontes, aumentando de moderado a fuertemente alcalino en profundidad y no salino (Tabla 1).

En esta Geotaxa se preserva el bosque nativo con algunas especies arbóreas del Espinal como *Vachellia caven* (Espínillo), *Neltuma alba* (Algarrobo blanco) y *Celtis tala* (Tala); así como vegetación halófila de *Distichlis spicata* (Pelo de Chanco), *Sporobolus spartinus* (Espartillares), *Sarcocornia perennis* (Jume), *Sarcocornia ambigua* (Salicornia).

La capacidad de uso las define para campos naturales, bosques y fauna; sin embargo, se han reportado sitios destinados a agricultura (Maceda, 2010). Es importante destacar que en los paleocauces de la región nor-noreste de la localidad de Villa María persisten parches de vegetación nativa, aunque con un grado de preservación media. Esto se asocia a diferentes conflictos socioambientales, como los microbasurales en El Algarrobal (barrio Malvinas Argentinas), el pasivo ambiental del ex punto limpio en el área protegida La Renata (barrio Felipe Botta), así como el potencial avance de la frontera urbana sobre estos espacios naturales.

Geotaxa Manto Loésico

En las áreas más altas del paisaje o zonas de interfluvios se localiza esta Geotaxa (Fig. 2) compuesta principalmente por Haplustoles típicos (Ht) (Tabla 1). El relieve es de tipo normal en posición de loma con pendientes de 0.1 %, escur-

rimiento lento, permeabilidad moderada y distribución de la humedad no uniforme. El perfil representativo se ubica en el campus de la Universidad Nacional de Villa María con una secuencia de horizontes: Ap, A, Bw, BC, Ck (Fig. 3c). El desarrollo pedogenético de estos suelos es intermedio, epipedón mólico bien provisto de carbono orgánico (2.74 – 2.65 %), densidad aparente media (1.15 g/cm³) en el Ap a alta (1.2 g/cm³) en el Bt, solum ligeramente ácido a neutro y no salino con abundantes carbonatos en masa en el material originario (Tabla 1). Desde la mirada productiva esta Pedotaxa posee capacidades de uso para la agricultura y en relación a su posición en el paisaje (Geotaxa), son regiones estables ante procesos de morfogénesis fluvial, anegamientos e inundaciones.

Geotaxa Paleollanura de Inundación Ctlamochita

El ambiente fluvial Ctlamochita se caracteriza por presentar dos niveles de terrazas, la más antigua se asocia a esta Geotaxa (Fig. 2), compuesta predominantemente por Haplustoles típicos (Ht) (Tabla 1). El relieve es normal a subnormal con una pendiente del orden del 0 al 5 %, escurrimiento medio, permeabilidad moderadamente rápida con distribución de la humedad no uniforme en todo el perfil. Al oeste del área de estudio, zona rural de Villa Nueva, se localiza el perfil representativo y presenta la siguiente secuencia de horizontes: Ap, AB, Bt1, Bt2, BC, C, CK (Fig. 3d). El desarrollo pedogenético es intermedio, el epipedón mólico altamente provisto de carbono orgánico (6.26 – 4.42 %), altos valores de densidad aparente (1.19 – 1.27 g/cm³), solum predominantemente neutro y no salino (Tabla 1). El uso del suelo es agrícola-tamboero, seguido del agrícola-ganadero. Existe un avance paulatino de la frontera agrícola, donde se registra un 33% de presencia de masa arbórea, a pesar de que en esta Geotaxa se localiza uno de los relictos de vegetación nativa más grande del departamento General San Martín, de aproximadamente 300 ha, ubicado en el Establecimiento Yucat, zona rural de Villa María.

Geotaxa Faja Fluvial Ctlamochita

La Geotaxa más joven y activa asociada al primer nivel de terraza, donde los procesos de morfogénesis dominan sobre los de pedogénesis, es la Faja Fluvial Ctlamochita (Fig. 2). Presenta complejos de suelos donde se clasificó como Pedotaxa representativa al Ustipsamments típico (Ut) (Tabla 1). El tipo de paisaje es característico de las terrazas fluviales, relieve normal con pendientes del 1 al 3 %, escurrimiento medio, permeabilidad moderada en los primeros horizontes y capas del suelo, y muy lenta a partir de los 50 cm. La distribución

de la humedad es no uniforme e imperfectamente drenado en todo el perfil. En el sector central del área de estudio, zona rural de Villa Nueva en posición de loma se localiza el perfil representativo y la secuencia de horizontes es: A, C1, C2, C3, 2C (Fig. 3e, Tabla 1). El desarrollo pedogenético es incipiente, aunque bien provisto de carbono orgánico (1.97 %), densidad aparente media (1.19 g/cm^3), solum ligeramente alcalino y no salino. Actualmente en el área de esta Geotaxa los relictos de bosque ribereño aún persisten. Prevalece el uso agrícola con diferentes rotaciones y varias de ellas con pasturas.

DISCUSIONES

De acuerdo a Bosnero et al. (2006) la Geotaxa Depresión se relaciona al complejo de suelos Ballesteros 11 (Ba11), donde el Haplustol údico alterna en forma subordinada con Argialboles y Natralboles típicos. El material originario podría asociarse a la Formación Chocancharava (Cantú 1992), compuesta por acumulaciones originadas por abanicos aluviales que comprende, en sus partes distales, limos arenosos y loésicos (Bonalmi et al. 2005). Se vincula a un mejoramiento climático del Pleistoceno superior donde los grandes abanicos aluviales de los ríos principales alcanzaron la llanura en

este período (Kröhling y Carignano 2014). Las propiedades údicas de la Pedotaxa quedan definidas principalmente por su localización en el paisaje, ya que climáticamente pertenece a la región ústica. Son altamente vulnerables a procesos de anegamientos, lo cual podría potenciarse si no se respeta la carga animal por hectárea. La degradación de las propiedades físicas (estructura y DA) favorecen la vulnerabilidad geoambiental. Lal (1996) sostiene que, con una carga animal de tres cabezas por hectárea, la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración se incrementan significativamente, y con ello la infiltración se ve reducida. Por lo tanto, estos establecimientos rurales se encuentran amenazados a replanificar el uso y manejo o mantenerse hasta que se los permita la legislación. Canestraro y Zulaica (2020) exponen que las áreas de expansión de las ciudades se caracterizan por la convergencia y coexistencia de diversas dinámicas socioeconómicas, culturales y ambientales; condicionadas por un mercado de suelo altamente especulativo, a partir de las cuales emergen conflictos de intereses entre diversos actores. Así el crecimiento urbano que excede la implementación de políticas de planificación, deriva en una complejidad de consecuencias directas e inmediatas sobre el territorio (Zulaica et al. 2023).

El complejo de suelos de la Geotaxa Paleocauce es deno-

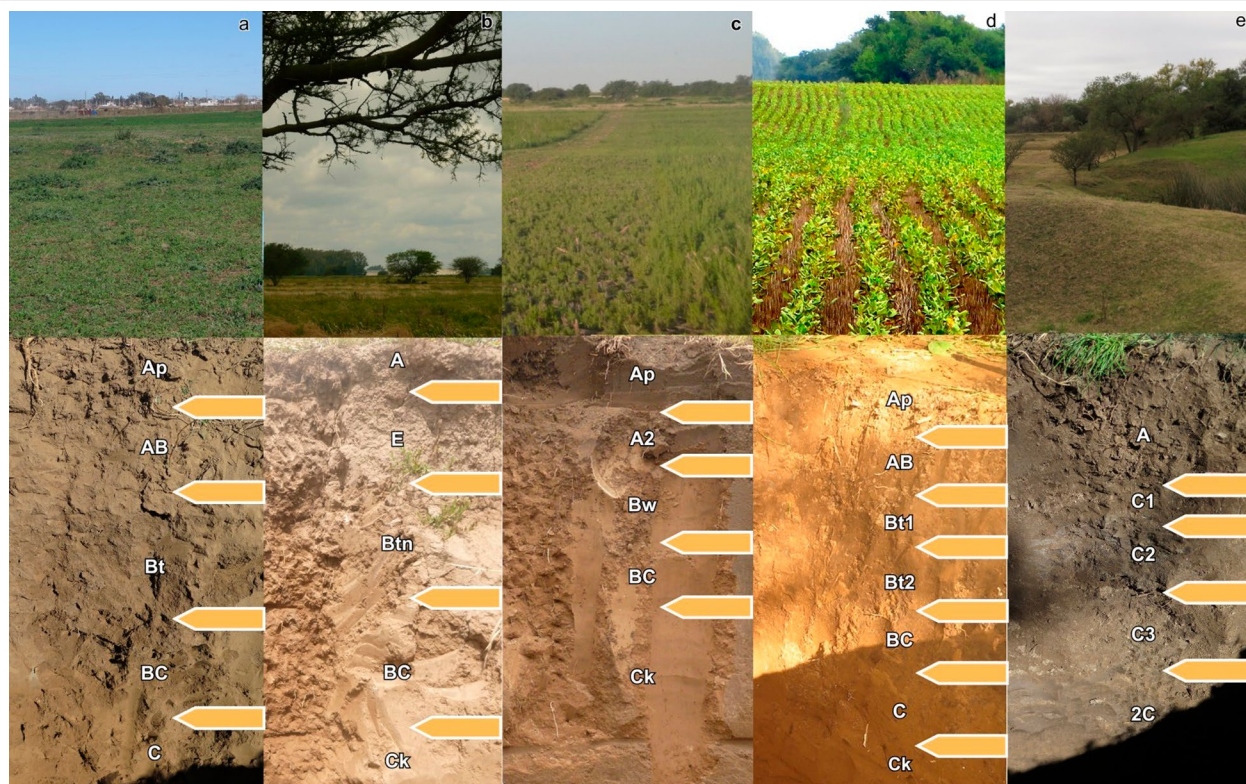


Figura 3. Paisajes de las Geotaxas y perfiles de Pedotaxas asociadas en la transecta representativa del área de estudio. a) Depresión-Haplustol údico, b) Paleocauce-Natracuallf típico, c) Manto Loésico-Haplustol típico, d) Paleollanura de Inundación Ctlamochita-Haplustol típico, e) Faja fluvial Ctlamochita-Ustipsamments típico.

del total se establecieron como Reserva Natural Protegida El Algarrobal (Ordenanza Municipal N° 5.867/07) y aunque ésta se amplió a 12 ha más en El Algarrobal y a 6 ha aproximadamente al norte del barrio Felipe Botta (Ordenanza Municipal N° 7.215/17), la ordenanza carece de un plan de gestión detallado como área natural protegida, incluso la mayor superficie es de dominio privado. Es importante destacar que en el 2018 la Asamblea Socioambiental el Monte nativo presentó un proyecto de ordenanza el cual fue desestimado y un proyecto de Ley Provincial (N° 34021L21) para declarar a los relictos de vegetación nativa de Villa María (El Algarrobal, La Renata y Las Playas), que principalmente se relacionan a los paleocauces, como Parque Natural Urbano. En este sentido, muchas son las justificaciones expuestas para preservar estos ambientes, aunque en relación a las características geopedológicas sólo expresan que presentan rasgos geológicos particulares para su preservación y la sustentabilidad ambiental. Por ello, estas regiones geopedológicas poseen una mayor vulnerabilidad natural frente a cambios antropogénicos. Sería importante integrar que la protección de estos ambientes naturales frágiles se fundamente también en que son vulnerables a anegamientos, presentan inestabilidad estructural del suelo, texturas variadas, dinámica hídrica en el perfil de suelo heterogénea, procesos de hidro y halomorfismo, donde su intervención generaría un desequilibrio en estos procesos y potenciaría los anegamientos, afectando lotes vecinos. Por lo expuesto, es fundamental la planificación en relación a la geopedología e hidrogeología.

Los suelos de la Geotaxa Manto Loésico corresponden a la Serie Manfredi (Bosnero et al. 2006) desarrollados sobre el material originario de la Formación La Invernada (Cantú 1992) que representa el Período Seco del Pleistoceno Superior y está compuesta principalmente por depósitos de loess de hasta dos a tres metros de espesor en la llanura. Esta Pedotaxa en relación a su posición en el paisaje (Geotaxa) es estable, pero vulnerable a la erosión eólica si se genera un uso intensivo de los agroecosistemas y no se conserva la cobertura vegetal. En consecuencia, esto podría disminuir o vencer el punto crítico de resiliencia del suelo, por lo que se deberían generar planes de manejo sustentable con recuperación del bosque nativo. Taboada y Costantini (2017) sostienen que los ecosistemas poco frágiles son aquellos que poseen suelos fértiles y se caracterizan por su baja vulnerabilidad y/o elevada resiliencia o capacidad de recuperación. Una de las características del Manto Loésico es la ausencia de masa arbórea, por lo que la importancia de preservarlas radica en que son las encargadas de la regulación del clima, entre muchos otros servicios ecosistémicos que brindan a nivel local, regional y mundial (FAO 2015). En este sentido,

Barchuk (2019) expone que la matriz agrícola intenta garantizar la eficiencia de los espacios naturales protegidos en la conservación de la biodiversidad, la cual debería estar formada tanto por las tierras cultivadas como por las plantaciones forestales de especies nativas, cercos de arbustos, pastizales y barbechos. Por lo tanto, comenzar a implementar prácticas sustentables dentro de los agroecosistemas tradicionales generan evidencias y resultados positivos, no sólo en el balance económico sino también en el ambiental, lo cual podría establecerse como una transición hacia lo natural y orgánico.

En la Geotaxa Paleollanura de Inundación Ctlamochita la Serie dominante es Oncativo caracterizada como un Haplusol éntico con un solum de menor profundidad (Bosnero et al. 2006) que la Pedotaxa identificada, ya que esta presenta el desarrollo de horizontes Bt. El material originario corresponde al miembro superior de la Formación Arroyo Las Lajas (Cantú 1992), compuestos por limos loessoides arenosos. Desde la perspectiva edafológica, son suelos que no presentan problemáticas para el uso productivo, pero geomorfológicamente son regiones frágiles que precisan ser planificadas respetando la dinámica fluvial. La principal problemática está asociada al avance de la frontera agrícola y la agriculturización, ya que la mayoría de los cultivos destinados a forrajes se cosechan para granos. De acuerdo a Leguía et al. (2019), la intensificación ganadera al reducir la superficie de pasturas por cultivos anuales para producción de reservas, resulta adversa a la sustentabilidad, ya que disminuye la calidad de las rotaciones, anula el pastoreo directo, aumenta el costo energético y disminuye la conservación del suelo. En coincidencia con Andrade et al. (2017), el avance de la frontera agropecuaria con la adopción de sistemas de producción simplificados, proceso asociado con la deforestación y el reemplazo de los ecosistemas originales, destruye hábitats con la consecuente pérdida de biodiversidad, y produce emisiones de gases de efecto invernadero, excesos hídricos y degradación de los suelos. Es importante destacar que el 83 % de los productores rurales asociados a esta Geotaxa reside en zona rural, por lo cual, a pesar de ser regiones de vulnerabilidad baja ante el peligro de inundación, se han reportado anegamientos de caminos que dificulta la comunicación y acceso a las zonas rurales.

En la Geotaxa Faja Fluvial Ctlamochita predomina el Complejo San Marcos1 (SM1) Clase Illsc (Bosnero et al. 2006) y el material originario corresponde a los miembros medio e inferior de la Formación Arroyo Las Lajas (Cantú 1992). Los sedimentos son arcillo limosos de ambientes palustres, así como eólicos ya que, en el interior de las grandes fajas fluviales estos sedimentos eólicos se acumularon en ambiente de pantanos permanentes constituyendo el relleno de formas erosivas (cauces y cárcavas) desarrolladas en el fondo de los

valles (Kröhling y Carignano 2014). Esto se evidencia en la discontinuidad y bajo desarrollo pedogenético en esta Geotaxa, a diferencia de la Paleollanura de Inundación. Además, su capacidad de uso lo habilita para prácticas de manejo y conservación más complejas, aunque adecuados para cultivos, pasturas y otros usos de la tierra, con moderada limitación climática, alcalinidad y/o salinidad (Klingebiel y Montgomery 1961). De este modo, estas regiones no sólo son frágiles por su vulnerabilidad natural, sino por determinados conflictos socioambientales asociados a la controversia entre producir y conservar, lo público y lo privado. En este sentido se han reportado diferentes usos productivos que afectan de manera negativa la fragilidad natural del sistema fluvial Ctlamochita, donde la importancia de preservarlos radica en que geopedológicamente es una zona muy vulnerable ante eventos de inundación y erosión de márgenes. Conci et al. (2024) afirma que en la Faja Fluvial del río Ctlamochita el tipo de explotación que prevalece es la agrícola. Asimismo, conviven sitios arqueológicos que están en riesgo de preservación, ya que Cattáneo et al. (2015) expresan que el uso de la tierra no ha facilitado el trabajo de campo arqueológico, donde en el siglo pasado en las márgenes del río Tercero se identificaron sólo dos sitios arqueológicos: Laguna Honda y Villa María que corresponden a ocupaciones agro-alfareras entre Villa María y Tío Pujio. Laguna Honda es un meandro abandonado del río Ctlamochita localizado en cercanías del Establecimiento Yucat, que se caracteriza por su riqueza arqueológica y es un potencial patrimonio geológico. Además, la actividad extractiva de áridos se concentra sobre los depósitos fluviales del río Ctlamochita. Las arenas son ricas en cuarzo y minerales estables del basamento metamórfico-plutónico de las sierras, pero las acumulaciones en terrazas y paleocauces suelen presentar una inferior calidad, lo que conlleva a realizar nuevas aperturas de frentes de explotación con la constante degradación de las márgenes de los ríos (Gaido y Sapp 2017). Hermelin (2003) sostiene que las funciones y servicios ambientales de las áreas verdes son relevantes al servir como áreas de infiltración profunda y almacenamiento de las aguas de lluvia, y consecuentemente, de control del escurrimiento superficial y de las inundaciones. Por ello, se debería promover el uso agroecológico y un control más exhaustivo en cuanto a las leyes que rigen el sector, principalmente la relacionada al límite de ribera.

Las características pedogenéticas en las diferentes Geotaxas manifiestan un buen desarrollo de la horizontalización, excepto en los suelos de la Faja Fluvial. La horizontalización evidenciada es el principal indicador de lo que Pereyra y Ragas (2021) denominan pedogénesis progresiva, base para diferenciar y relacionar procesos de formación y/o degrada-

ción geoambiental. La melanización está presente, aunque es similar en todas las Pedotaxas, reflejándose en la predominancia de colores pardos amarillentos a grisáceos oscuros, a pesar de que el material originario, relieve y tiempo de evolución son distintos y podrían incidir en la incorporación de la materia orgánica (Tabla 1). Imbellone et al. (2010) sostienen que las características del material mineral como la textura que recibe los restos orgánicos, condicionan la evolución del proceso, ya que los cationes alcalino-térreos, especialmente calcio, son importantes en la estabilización de sustancias húmicas como el aumento de material fino que reduce la porosidad, limitando la actividad de organismos. En cambio, el relieve interviene localmente en el contenido de agua del suelo y en el tipo y densidad de la vegetación (Imbellone et al. 2010). En este sentido la baja variabilidad entre geotaxas del %CO asociado al proceso de melanización, podría deberse a los usos distintos, ya que los suelos pertenecientes a las Geotaxas Faja Fluvial y Paleocauce con génesis contrastantes son los que presentan menor intervención, en cambio los de la Paleollanura de Inundación, Manto Loésico y Depresión son los más intervenidos.

La incipiente argiluvación se observa en prácticamente todas las Pedotaxas, evidenciada por la presencia de barnices clayhúmicos (Tabla 1), aunque sin desarrollo en la Pedotaxa de la Faja Fluvial y con mayor desarrollo en la representativa del Paleocauce, condicionada por el relieve, pero principalmente por el tiempo, ya que de acuerdo a Pereyra y Ragas (2021) es un proceso de ciclo largo.

En coincidencia con Carignano et al. (2014) es imprescindible clasificar, analizar la génesis de las geoformas y la evolución de una región en el transcurso de este tiempo geológico. Vizgarra et al. (2022) sostienen que el modelo de relación paisaje-suelo permite integrar y resumir la información cartográfica para la toma de decisiones con el fin de mitigar los procesos de degradación y planificar el territorio.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la cartografía geopedológica permitió un análisis geoambiental integrado de geomorfología, suelos y problemáticas socioambientales a lo largo de una transecta en zonas rurales y periurbanas que se relacionan al sistema fluvial Ctlamochita en el departamento General San Martín. De este modo se establecieron diferentes vulnerabilidades ambientales donde se destaca que las regiones más bajas del paisaje, asociadas a las Geotaxas Depresión y Paleocauce, son altamente vulnerables a los procesos de anegamientos. La diferencia radica en que las Pedotaxas de los paleo-

cauces son más evolucionadas donde aún persisten relictos de vegetación nativa, en cambio en la Geotaxa Depresión la vulnerabilidad se intensifica por el uso y manejo del suelo. En las zonas más altas del paisaje, áreas de interfluvios, la Geotaxa Manto Loésico se caracteriza por presentar una baja vulnerabilidad natural, aunque es potencialmente vulnerable si se intensifica el uso de los agroecosistemas. Finalmente, desde la mirada geopedológica los diferentes niveles de terraza del sistema fluvial Ctlamochita, caracterizados como Paleollanura de Inundación y Faja Fluvial, son los ambientes más frágiles ante el avance de los sistemas rurales productivistas, sin una planificación territorial en relación a un ambiente fluvial desarrollado e instalado en la llanura desde el Pleistoceno superior. Por lo tanto, las condiciones naturales son determinantes en la ocurrencia de procesos geológicos, sin embargo, la vulnerabilidad de un sistema depende no sólo de los factores formadores de un suelo, sino también del uso y manejo de la tierra. Esto permite legislar en materia de medio ambiente de acuerdo a características naturales geopedológicas y a problemáticas socioambientales para verificar el uso adecuado del suelo teniendo como base la paleo y actual dinámica fluvioeólica.

REFERENCIAS

- Andrade, F., Taboada, M., Lema, D., Maceira, N., Echeverría, H., Posse, G., Prieto, D., Sánchez, E., Ducasse, D., Bogliani, M., Gamundi, J. C., Trumper, E., Frana, J., Perotti, E., Fava, F. y Mastrángelo, M. 2017. Los desafíos de la agricultura argentina. Ediciones INTA, 210 p., Buenos Aires.
- Arana, M. D., Natale, E., Ferretti, N., Romano, G., Oggero, A., Martínez, G., Posadas, P. y Morrone, J. J. 2021. Esquema biogeográfico de la República Argentina. Opera lilloana 56, Fundación Miguel Lillo, 240 p., Tucumán, Argentina.
- Asamblea Socioambiental Villa María-Villa Nueva, Licenciatura en Ambiente y Energías Renovables (UNVM), Takku, Eco Sitio, Qumanta Huasi. 2017. Análisis de situación socioambiental del Bosque Nativo "El Algarrobal", barrio Malvinas Argentinas, Villa María, Córdoba. IV Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables. Villa María, Argentina.
- Asamblea Socioambiental El Monte Nativo Vuelve. 2018. Proyecto de ordenanza para la creación de la Reserva natural urbana y pluricultural "El Algarrobal" del barrio Malvinas Argentinas en el ejido municipal de Villa María. <http://fmuniversidad.com.ar/2018/09/la-asamblea-socioambiental-redacto-un-proyecto-de-ordenanza-para-preservar-el-algarrobal/>
- Bachetti, R.A., Urseler, N., Morgante, V., Damilano, G., Porporatto, C., Agostini, E. y Morgante, C. 2021. Monitoring of atrazine pollution and its spatial-seasonal variation on surface water sources of an agricultural river basin. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 106: 929–935.
- Barchuk, A. 2019. Manual de buenas prácticas para la conservación del bosque nativo. Editorial Brujas, 365 p., Córdoba.
- Barrera, A., Rodríguez, M. J., Ingaramo, R. N., Becker, A. R. y Chiappero, A. 2022. Perspectiva geoambiental en el ámbito urbano rural de La Playosa, Córdoba. XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: Suelos saludables, sustento de la sociedad y el ambiente. Tomo 1: 226, Buenos Aires.
- Becker, A. 2006. Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, 800 p., Río Cuarto, Córdoba.
- Becker, A. R., Grumelli, M., Rodríguez, M. J., Ingaramo, R. N., Manzotti, M., Maldonado, M. L., Milán, C., Ledesma, M. M., Rangone, A., Bauk, L., Conci, E., Gastaldi, B., Romero, A. L., Barrera, A. y Fino, M. 2021. Geoindicadores para la evaluación ambiental en agroecosistemas de la región de Villa María, Córdoba, Argentina. En: Guzmán, L. A. y Sempio, E. (eds.), *Seminarios territorios, la investigación y formas de abordaje*, Argentina, UNVM: 61-63, Villa María.
- Blanco, J., Bachmann, L. y Carabajal M. I. 2023. Aportes de las Humanidades y las Ciencias Sociales a la construcción de políticas ambientales desde la Facultad de Filosofía y Letras. *ESPACIOS de crítica y producción* 59: 4-10
- Bonalumi, A., Martino, R.D., Sfragulla, J., Carignano, C. y Tauber, A. 2005. Hoja Geológica 3363-I. Villa María. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 347: 1-74, Buenos Aires.
- Bosnero, H., Pappalardo, J., Sanabria, J., Carnero, M. y Bustos, V. 2006. Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja 3363-9, Villa María, Escala 1:50.000. Convenio Agencia Córdoba Ambiente-INTA, 75 p., Córdoba.
- Bouza, P.J., Ríos, I., Idaszkin, Y.L. y Bortolus, A. 2019. Patagonian salt marsh soils and oxidizable pedogenic pyrite: solid phases controlling aluminum and iron contents in acidic soil solutions. *Environmental Earth Sciences* (2019) 78: 2.
- Brunetto, E. y Iriondo, M. 2007. Neotectónica en la Pampa Norte (Argentina). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 20: 17–29.
- Brunetto, E., Kröhlhling, D. M., Zalazar, M. C. y Francisconi, M. C. 2017. Analysis of the interaction between neotectonic and surface processes in a low-land intracratonic setting of South America. *Quaternary International* 438:141–159.
- Brunetto, E., Sobrero, F. S. y Gimenez, M. E. 2019. Quaternary deformation and stress field in the Río de la Plata Craton (Southeastern South America). *Journal of South American Earth Sciences* 91:332–351.
- Canestraro, M. L. y Zulaica L. 2020. Transformaciones recientes y conflictos urbanos hacia el sur de Mar del Plata. *Revista Vivienda & Ciudad* 7: 192-201.
- Cantú, M. P. 1992. Provincia de Córdoba. En: Iriondo, M. (ed.), *El Holoceno*

- no en la Argentina. Edición de CADINQUA 1: 1-16.
- Cantú, M. P. 1998. Estudio geocientífico para la evaluación ambiental y Ordenación Territorial de una cuenca pedemontana. Caso: Cuenca del arroyo La Colacha, departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, 376 p., Río Cuarto, Córdoba.
- Carignano, C., Kröhlhling, D., Degiovanni, S., y Cioccale, M. 2014. Geología de Superficie, Geomorfología. En: Guerreschi, A. y Martino, R. D. (eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. XIX Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 747-821, Córdoba.
- Cattáneo, R., Izeta, A. D. y Costa, T. 2015. El patrimonio arqueológico de los espacios rurales de la provincia de Córdoba. Universidad Nacional de Córdoba, segunda edición, 390 p., Córdoba.
- Cendrero, A., Francés, E. y Díaz De Terán, J. R. 1992. Geoenvironmental units as a basis for assessment, regulation and management the earth's surface. En: Cendrero, A., Lutrig, G. y Wolf, F. C. (Eds.). Planning the use of the Earth's Surface: 199-234. Springer-Verlag, NY.
- Cendrero, A., Fancés, E., Latrubesse, E. M., Prado, R. Fabbri, A., Panizza, M., Cantú, M. P., Hurtado, M., Giménez, J. E., Martinez, O., Cabral, M., Tecchi, R. A., Hamity, V., Ferman, J. L., Quintana, C., Ceccioni, A., Recatala, L., Bayer, M. y Aquino, S. 2002. Projeto RELESA-ELANEM: Uma nova proposta metodológica de índices e indicadores para avaliação da qualidade ambiental. Revista Brasileira de Geomorfologia 3(1): 33-47.
- Conci, E., Rodríguez, M. J., Becker, A. R., Ledesma, M. M., Rangone, A. F. y Salguero, J. F. 2024. Vulnerabilidad ambiental en áreas rurales asociadas al sistema fluvial Ctlamochita, Córdoba, Argentina. Cuadernos Geográficos 63(2): 308-329.
- Corigliano, M. C. 2009. Ecología histórica de la subcuenca del río Carcarañá. Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, 17 p., Río Cuarto, Córdoba.
- Costa, C., Massabie, A., Sagripanti, G., Brunetto, E. y Coppolecchia M. 2014. Geología de Superficie, Neotectónica. En: Guerreschi, A. y Martino, R. D. (eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. XIX Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 725-746. Córdoba.
- Degiovanni, S., Villegas, M., Blarasín, M. y Sagripanti, G. 2005. Hoja Geológica 3263-III. Río Cuarto. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 349: 1-95, Buenos Aires.
- De Sousa Gonçalves, A. 2025. Análise bibliométrica da produção científica sobre avaliações ambientais integradas. Monografia de Bacharelado em Geografia, Universidade Federal do Ceará, 207 p., Fortaleza, Ceará, Brasil.
- De Souza Marques, F. C. M. 2024. Por uma geografia socioambiental dos municípios de Soure e Salvaterra, Marajó/Pará. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará, 207 p., Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Del Valle, H. F. 2008. Controversias y tendencias de la modelación cartográfica ambiental. En: Cantú, M.P., Becker, A.R. y Bedano, J.C. (eds.), Evaluación de la sustentabilidad ambiental en sistemas agropecuarios: 89-96, Río Cuarto.
- D'eraimo, F., Pinotti, L., Bonalumi, A., Sfragulla, J., Demartis, M., Coniglio, J. y Baldo, E. 2014. El Magmatismo Ordovícico en las Sierras Pampeanas de Córdoba. En: Guerreschi, A. y Martino, R. D. (eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. XIX Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 233-254, Córdoba.
- Duval, V. S. y Benedetti, G. M. 2019. Política de conservación del patrimonio natural en Argentina. Finisterra 54(111): 101-118.
- FAO. 2015. Los suelos constituyen la base de la vegetación que se cultiva u ordena para la producción de piensos, fibras, combustible y productos medicinales. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i4666s>
- Fernández, D. S., Puchulu, M. E., Rostagno, C. M., La Manna, L., Becker, A. R., Grumelli, M. T. y Schiavo, H. F. 2023. Agricultural Land Degradation in Argentina. En: Pereira, P., Muñoz Rojas, M., Bogunovic, I. y Zhao, W. (eds), Impact of Agriculture on Soil Degradation I. The Handbook of Environmental Chemistry, Springer, Cham, Volumen 120: 1-47, Switzerland.
- Gaido, M. F. y Sapp, M. 2017. Carta de Minerales Industriales, Rocas y Gemas. 3363-I Villa María. Provincia de Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín N.º 428, 52 p., Buenos Aires.
- Galetto, L., Barberis, I., Calamari, N., Dardanelli, S., Gavier-Pizarro, G., Iglesias, R., Lezana, L., Torres, C. y Vesprini, J. 2021. Capítulo 9. Región del Espinal. En: Peri, P. L., Martínez Pastur, G. J. y Schlichter, T. M. (eds.), Uso sostenible del bosque: Aportes desde la Silvicultura Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable: 543-605, Buenos Aires.
- Geuna, S. y Escosteguy, L. 2014. Paleomagnetismo. En: Guerreschi, A. y Martino, R. D. (eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. XIX Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 831-843, Córdoba.
- Gorgas, J., Sanabria, J., Bustos, V. y Rouzaut, S. 2014. Recursos Naturales, Los Suelos. En: Guerreschi, A. y Martino, R. D. (eds.), Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. XIX Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 1289-1304. Córdoba.
- Grumelli, M. T. 2010. Génesis y relaciones paleoclimáticas de los suelos de la Colonia Nueva Sampacho, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Un aporte al estudio del cambio climático global. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, 198 p., Río Cuarto, Córdoba.
- Grupo Hunosa, Centro tecnológico Aitemin y Sadim. 2016. Normativa para la Elaboración de Estudios Geoambientales. Informe Técnico Final. Proyecto SIGAM Segemar, 124 p., Argentina.
- Heiri, O., Lotter, A. F. y Lemcke, G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of paleolimnology 25(1):101-110.
- Hermelin, M. 2003. Urbanismo y naturaleza en América Latina: Un patrimonio indisoluble. Revista INVI 18(47): 30-38.

- Hughes, C. E., Ringelberg, J. J., Lewis, G. P. y Catalano, S. A. 2022. Dis-integration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys* 205: 147-189.
- Imbellone, P. A., Giménez, J. E. y Panigatti, J. L. 2010. Suelos de la Región Pampeana. Procesos de formación. INTA, 320 p., Buenos Aires.
- Iriondo, M. 1994. Los climas cuaternarios de la región pampeana. *Comunicaciones del Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino*(N: S) 4:1-48.
- Jackson, M. L. 1970. Análisis químico de suelos. Editorial Omega, 662 p., Barcelona.
- Klingebiel, A y P Montgomery. 1961. Land capability classification. *Agriculture Handbook* 210. USDA-SCS, Washington, D.C.
- Kröhlhing, D. y Carignano, C. 2014. Geología de superficie. La estratigrafía de los depósitos sedimentarios cuaternarios. En: Guerreschi, A. y Martino, R. D. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba*. XIX Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 671-724. Córdoba.
- Lal, R. 1996. Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. I. Soil physical and hydrological properties. *Land Degradation & Development* 7:19-45.
- Lario Gómez, J., Bardají Azcárate, T., Herrera García, G., Pérez Torrado, F. J., Gutiérrez Santolalla, F., García Rodríguez, M., García Meléndez, E., Rodríguez Pascua, M. A., Carracedo Gómez, J. C., Silva Barroso, P. G., Díez Herrero, A., Rodríguez García, A., Jover, R. T. y Menéndez Duarte, R. 2017. Introducción a los Riesgos Geológicos. Universidad Nacional de Educación a Distancia, 302 p., Madrid.
- Lavado, R. S. 2016. Degradación de los suelos argentinos. En: Pereyra, F. X. y Torres Duggan, M. (eds.), *Suelos y geología argentina, una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo y Asociación Geológica Argentina: 313-328, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Leguia, H. L., Pietrarelli, L., Re, A., Fontanini, L. y Vaccarello, H. 2019. La diversidad productiva y su influencia en los aportes orgánicos y la eficiencia energética, en sistemas extensivos del centro de Córdoba, Argentina. *Revista FCA UNCUIYO* 51(2): 89-104.
- León, D. C. y Cárdenas, J. C. 2020. Lecciones del COVID-19 para una agenda de sostenibilidad en América Latina y el Caribe. *PNUD LAC C19 PDS* 1: 1-35.
- Macagno, A.; Sambuceti, N., Rampone, A., Ramunda, M., Fernández, E., Echevarría, A. y Rodríguez, M. J. 2023. Realidad actual de la producción de carne bovina en el centro de Córdoba. Información para la generación de políticas públicas sostenibles. Preprint. Villa María: EDUVIM. <https://www.eduvim.com.ar/preimpresos/LEA/26JDEB/index.html>
- Maceda, J. C. 2010. Efecto del subsolado y agregado simultáneo de yeso sobre el suelo y el rendimiento de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) en la zona de Villa María. Trabajo Final de Grado, Universidad Nacional de Villa María, 62p., Villa María, Córdoba.
- Massabie, A. 1987. Neotectónica y Sismicidad en la región de las Sierras Pampeanas Orientales, Sierras de Córdoba, Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 271- 274.
- Moretti, L. M., Rodríguez, D. M., Angelini, M. E. y Morrás, H. J. M. 2012. Génesis de suelos en un sector del piedemonte aluvial del Chaco salteño. *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo* 30(2): 161-172.
- Moretti, L. M., Rodríguez, D. M., Navarro, M. F. y Bedendo, D. J. 2016. Metodología del relevamiento de suelos. En: Pereyra, F. X. y Torres Duggan, M. (eds.), *Suelos y geología argentina, una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo y Asociación Geológica Argentina: 277-287, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Oggero, A., De Luca, N., Natale, E. y Arana, M. D. 2014. Caracterización y situación actual de los bosques nativos en el centro sur de la provincia de Córdoba, Argentina. *Voces en el Fénix* 35: 142-151.
- Parra, B. 2011. Caracterización y modelización de la susceptibilidad a la compactación para la obtención de indicadores de calidad física de Haplustoles del centro-sur de Córdoba. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, 206 p., Río Cuarto, Córdoba.
- Pasotti, P. 1974. La Neotectónica en la Llanura Pampeana. Fundamentos para el mapa neotectónico. Publicación del Instituto de Fisiografía y Geología de la Universidad Nacional de Rosario 58, 28 p., Rosario.
- Pengue, W. A. 2014. Cambios y escenarios en la agricultura argentina del Siglo XXI. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3592.8488>
- Pereyra, F. X., Irisarri J. A. y Ferrer, J. A. 2011. Suelos: Factores de formación, procesos pedogenéticos y distribución. XVIII Congreso Geológico Argentino, Suelo 75: 871-880, Neuquén.
- Pereyra, F.X. y Ragas, D.B. 2021. Los suelos de la pampa ondulada. Características, clasificación, distribución y génesis. Provincia de Buenos Aires. Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 60, 51p., Buenos Aires.
- Pinotti, L., D'eraimo, F. J., Geuna, S., Radice, S., Gómez-Ortiz, D., Vegas, N., Coniglio, J., Bofadossi, M. A., Muratori, M. E., Demartis, M. y Kostadinoff, J. 2021. Geological and geophysical methods relevant to decipher the structure and emplacement of granites: Insights from the Calmayo pluton (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 106: 103021.
- Plencovich, M. C., Yugman, L. I., Cordon, G., Rodriguez, M., Mella, A. y Sónfora, M. V. 2017. La Construcción del conocimiento en las ciencias ambientales. En: Plencovich, M. C., Yugman, L. I. y Cordon, G. (eds.), *La investigación en las ciencias ambientales*. EFA: 15-68, Buenos Aires.
- Proyecto de Ley Provincial N° 34021L21. <https://www.lucianaachevarria.com.ar/proyecto-de-ley-declarar-parque-natural-urbano-al-montecito-de-villa-maria-n-34021l21/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2015. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Don-

- ges, J. F., ... & Rockström, J. 2023. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458.
- Rodríguez Gamíño, M. D. L. y López Blanco, J. 2006. Caracterización de unidades biofísicas a partir de indicadores ambientales en Milpa Alta, Centro de México. *Investigaciones geográficas* 60: 46-61.
- Rodríguez, M. J., Becker, A.R., Grumelli, M., Bouza, P. y Conci, E. 2017. Conformación de unidades morfoedológicas para el desarrollo de una planificación sustentable del Departamento General San Martín, Córdoba. XX Congreso Geológico Argentino. *Geología, Presente y Futuro*: 99-105, San Miguel de Tucumán.
- Rodríguez, M. J., Conci, E., Becker, A., Grumelli, M., Ledesma, M. M., Rangone, A., Forgioni, F. P. y Bouza, P. 2021. Environmental risk in the fluvio-aeolian plain of the region center of the General San Martín department, Córdoba, Argentina. En: Bouza, P., Rabassa, J. y Bilmes, A. (eds.), *Advances in Geomorphology and Quaternary Studies in Argentina*. Springer Nature: 244-284, Switzerland.
- Sagripanti, G., Villalba D. y Villegas M. 2012. Nuevas evidencias de deformaciones Cuaternarias asociadas a la falla Sierra Chica, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (4): 611 - 626.
- Sayago, J. M. y Collantes, M. M. 2016. Geopedology and Land degradation in North-West Argentina. En: Zinck, J. A., Metternicht, G., Bocco, G. y Del Valle, H. F. (eds.), *Geopedology, An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Springer International Publishing: 441-455, The Netherlands.
- Schiavo, H., Becker, A. y Cantú, P. 1995. Caracterización y génesis de los fragipanes de la depresión de Curapaligüe, departamento Saenz Peña, Córdoba, Argentina. *Ciencia del Suelo* 13: 28-34.
- Soil Survey Manual. 2017. Handbook 18. USDA. DC, 639 p., Washington.
- Soil Survey Staff. 2022. *Keys to Soil Taxonomy*, 13th edition. USDA Natural Resources Conservation Service, 402 p., Washington.
- Taboada, M. A. y Costantini, A. O. 2017. Suelos y Ambiente: Los suelos y las nuevas demandas de las ciencias ambientales. En: Plencovich, C., Vugman, L. y Cordon G. (eds.). *La investigación en las ciencias ambientales*. EFA: 253-274, Buenos Aires.
- Vizgarra, L. A., Moretti, L. M., Tenti Vucgen, L., Rodríguez, D. M., Schulz, G. A., Bressan, E. M. y Laghi, J. D. 2022. Geopedología del sector noroccidental de la cuenca de los bajos submeridionales, Argentina. *Ciencia del Suelo* 40(1): 112-125.
- Vugman, L., Plencovich, M. C., Duran, P., Bombelli, E., Barberis, G. y Bonatti, M. 2017. Capítulo 6. Algunas estrategias metodológicas de uso en las ciencias ambientales. (a) Las técnicas, los procedimientos ¿Cómo estudiar el ambiente en forma integrada? En: Plencovich, M. C., Vugman, L. I., y Cordon, G. (eds.), *La investigación en las ciencias ambientales*. EFA:161-190, Buenos Aires.
- Zak, M. R. 2008. Patrones espaciales de la vegetación de la provincia de Córdoba. Análisis complementario de información satelital y datos de campo. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba.
- Zinck, J. A. 1988. *Physiography and soils*. Lecture notes. Enschede, The Netherlands: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Zinck, J. A., 2012. *Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, 131 p., Enschede, The Netherlands.
- Zinck, J. A., Metternicht, G., Bocco, G. y Del Valle, H. F. 2016. *Geopedology: An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*. Springer International Publishing, 556 p., Berlín, Alemania.
- Zulaica, M. L., Canestraro, M. L. y Mujica, C. M. 2023. La expansión urbana de Mar del Plata: Análisis de algunos datos recientes sobre dinámicas socioterritoriales y demográficas. *Cuadernos del ISTE C* 2: 1-15